

APLICACIÓN DE UN ÍNDICE PARA EL ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN LLUVIOSA EN LA REGIÓN SUBTROPICAL DE ARGENTINA

Juan A. Rivera^{1,2 *}, Natalia Herrera⁴, Carla N. Gulizia^{1,2,3}, Natalia B. Montroull^{2,3}, Pablo C. Spennemann^{2,3} y Natalia Zazulie^{1,2}

¹ Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEN, UBA, Buenos Aires, Argentina.

² CONICET, Buenos Aires, Argentina

³ Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA-UBA/CONICET), Buenos Aires, Argentina.

⁴ Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Buenos Aires, Argentina.

(Manuscrito recibido el 16 de abril de 2010, aceptado el 22 de febrero de 2012)

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo es identificar la época de inicio y fin de la estación lluviosa en la Argentina al norte de 30°S mediante un índice adecuado y analizar su variabilidad interanual en regiones homogéneas respecto a la variabilidad temporal de la precipitación. Se utilizaron datos de precipitación diaria en 19 estaciones pluviométricas de la República Argentina provistos por el Servicio Meteorológico Nacional, para el período 1974-2004, y datos de viento zonal en el nivel de 850 hPa de los reanálisis del ECMWF (ERA-40) para el período 1979-1999. Se establecieron las fechas de inicio y fin de la estación lluviosa para cada estación pluviométrica mediante un criterio de acumulación de precipitación. Este criterio resulta ser adecuado para analizar regiones cuyo ciclo anual de precipitación es marcado. El análisis de la variabilidad interanual de las series de inicio y fin de la estación lluviosa muestra que ambas regiones poseen tendencias hacia una extensión en la longitud de la misma. Se encuentra que los cambios en la componente zonal del viento en niveles bajos, de valores positivos (de mediados de abril a principios de septiembre) a valores negativos (principios de septiembre a mediados de abril), representan el inicio y fin climatológico de la estación lluviosa.

Palabras clave: Índice, estación lluviosa, tendencias, Argentina subtropical.

INDEX APPLICATION FOR THE ANALYSIS OF CHARACTERISTICS OF THE RAINY SEASON IN SUBTROPICAL REGION OF ARGENTINA

ABSTRACT

The main objective of this study is to identify the dates of the onset and end of the rainy season in Argentina North of 30°S, through an appropriate index, and to analyze its interannual variability in homogeneous regions with respect to the temporal variability of precipitation. We used daily precipitation data from 19 pluviometric stations in Argentina provided by the National Weather Service for the period 1974-2004, and zonal wind data at the level of 850 hPa derived from ECMWF (ERA-40) for the period 1979-1999. The dates of the onset and end were established for each station through a rainfall accumulation criterion. This criterion is adequate to analyze regions which have an accentuated rainfall annual cycle. The analysis of the interannual variability of the rainy season's series showed that both regions have a trend towards an extension in length. We found that changes in the low level zonal wind, from positive values (from mid-April to

early September) to negative values (early September to mid-April), represent the climatological onset and end of the rainy season.

Keywords: Index, Rainy season, trends, Subtropical Argentina.

1. INTRODUCCIÓN

La producción agrícola en el norte de Argentina se vio beneficiada en las últimas décadas por los aumentos progresivos en la precipitación. Hasta la década de 1960 esta región era considerada semiárida. Hoffmann y otros (1987) observaron el corrimiento de la isoyeta de 800 mm hacia el oeste en más de 100 km, que en el norte del país delimita la posibilidad de la agricultura de secano. Como las isoyetas se posicionan en dirección norte-sur, los incrementos en las precipitaciones favorecieron la extensión de la frontera agropecuaria (Castañeda y Barros, 1994; Castañeda y Barros, 2001) y, en consecuencia, aumentó la capacidad productiva de las tierras en más de 100.000 km² (Barros y otros, 2008). Este aumento estuvo acompañado de una mayor variabilidad interanual en la precipitación (Barros y otros, 2000), lo cual incrementa el riesgo de sequías o inundaciones debido a que el inicio y el fin de la estación lluviosa pueden sufrir retrasos o adelantos considerables.

El comienzo y la duración de la estación lluviosa afectan varias actividades sociales y económicas, como la planificación agrícola y el manejo de recursos hídricos (Raia y Cavalcanti, 2008). Dado que las fechas de inicio y fin de estación lluviosa tienen influencia sobre las fechas de siembra y cosecha, los beneficios a la sociedad en la región subtropical argentina pueden ser aprovechados mediante la confección de calendarios para los tomadores de decisión en función de pronósticos de la estación lluviosa. Rivera y otros (2009) analizaron la distribución espacial y temporal de los valores climáticos de las fechas de inicio de la estación lluviosa en la región subtropical de Argentina, estimadas a partir de datos de precipitación. A nivel mundial, estudios de este tipo fueron realizados por Laux y otros (2008), Mugalavai y otros (2008); y otros autores.

El transporte de humedad es fundamental en la generación de precipitación, y uno de sus componentes es el viento en niveles bajos. Diversos estudios utilizan el viento como índice para determinar el inicio y fin de la estación lluviosa (Wang y otros, 2004; Zhang, 2009, entre otros). Gan y otros (2004) analizaron los aspectos

climatológicos de la circulación del monzón sudamericano, y encontraron una inversión en la dirección del viento zonal en 850 hPa entre 20°S y 30°S, promediado entre 50°O y 60°O. El viento zonal es del este durante la estación seca y del oeste durante la estación lluviosa, en cambio el viento meridional en 850 hPa no presenta una variación anual marcada.

Si se considera como objetivo futuro la predicción de la estación lluviosa y no el monitoreo de la misma, es conveniente examinar las fechas de inicio y fin de la estación lluviosa como promedios regionales (Camberlin y Diop, 2003). Este análisis regional permite minimizar los efectos que poseen los eventos locales de convección en las fechas de inicio y fin de la estación lluviosa. En este estudio se identifican las características de la estación lluviosa, a través de su duración, inicio y fin, en Argentina al norte de 30°S, mediante un índice adecuado y se analiza su variabilidad interanual a nivel regional. Además se intenta determinar si la rotación del viento zonal ocurre previa al inicio y al fin de la estación lluviosa en esta región. Esto último podría ser utilizado como indicador del inicio y fin de la época de lluvia.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

2.1. Área de estudio

La región subtropical argentina comprende la porción del territorio ubicada al norte de 30°S, y totaliza una extensión de aproximadamente 1.000.000 km² (Figura 1). Se encuentra delimitada al oeste por la Cordillera de los Andes y está bajo la influencia de la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (Kodama, 1992), un jet de capas bajas (Virji, 1981; Vera y otros, 2006) y el sistema de alta presión semipermanente del Océano Atlántico. La combinación de la orografía y los patrones de circulación existentes dan como resultado diversas variabilidades en los campos de precipitación. A fin de obtener conclusiones adecuadas a las distribuciones de precipitación presentes en el dominio de estudio, se evaluó el comportamiento de la estación lluviosa en las regiones obtenidas en Rivera y otros (2009),

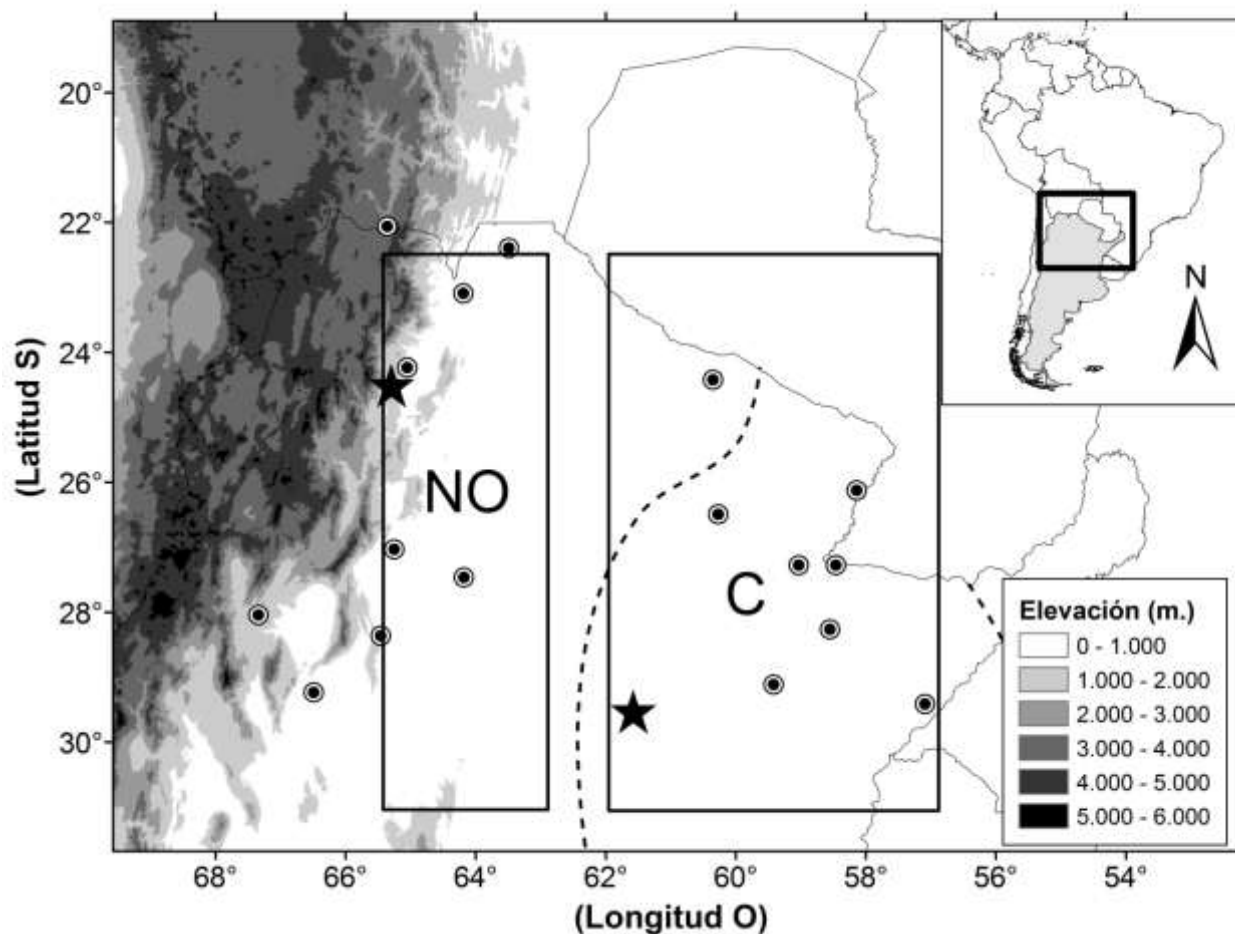


Figura 1: Distribución espacial de las estaciones pluviométricas utilizadas. En línea de trazos se representa la separación de las regiones Noroeste y Central. Las cajas representan los dominios considerados para el análisis del viento en niveles bajos. Las estrellas indican la ubicación de las estaciones Salta y Ceres, las cuales representan la variabilidad de las regiones Noroeste y Central, respectivamente. En sombreado se detalla la orografía del área de estudio, la cual corresponde principalmente a la Cordillera de los Andes.

quienes aplicaron análisis de componentes principales a las series temporales de valores pentádicos de precipitación a fin de obtener regiones homogéneas respecto a la variabilidad temporal de las mismas. En dicho trabajo, se definieron dos regiones de análisis: Noroeste y Central. En la figura 1 se muestran estas regiones, las estaciones pluviométricas consideradas y las características topográficas de la región de estudio.

En la región Central, la estación lluviosa inicia hacia fines de septiembre y finaliza hacia fines de abril, con una duración aproximada de 7 meses. En la región Noroeste, la estación lluviosa se inicia hacia fines de octubre y finaliza durante los primeros días de abril, lo cual representa una

duración de poco más de 5 meses (Rivera y otros, 2009, Figura 2). A nivel climatológico, el ciclo de precipitación presenta un mínimo en los meses de invierno, el cual es más pronunciado hacia el oeste. La Figura 2 muestra el comportamiento del ciclo anual de precipitación en las estaciones Salta y Ceres, las cuales representan la variabilidad temporal de las regiones Noroeste y Central, respectivamente. Estas estaciones fueron elegidas dado que poseen la mayor correlación con las componentes principales obtenidas por Rivera y otros (2009). Rusticucci y Penalba (2000) encontraron que la varianza y la amplitud asociadas a la onda anual de precipitación son mayores en la región Noroeste respecto a la región Central, donde tiene más presencia la onda

semi-anual. Los acumulados de precipitación van desde los 1500 mm anuales en el extremo este de la región, a los 400 mm en la zona cordillerana (Tabla I). Este gradiente este-oeste en la precipitación media anual es la característica más importante de esta variable en la región (González y Barros, 1998).

En cuanto al tipo de precipitaciones en la región de estudio, Wölcken (1954) clasifica las lluvias del centro y norte del territorio argentino distinguiendo dos clases principales: frontales y no frontales, las cuales aportan el 79% y el 21% de la cantidad total de precipitación, respectivamente.

Dado que al este del continente los Andes actúan como una barrera para el ingreso en niveles bajos de humedad desde el Pacífico, las únicas fuentes de vapor de agua para la precipitación en el sudeste de Sudamérica son el océano Atlántico y la zona tropical continental (Barros y otros, 2002).

2.2. Datos utilizados

En el presente trabajo se utilizaron datos de precipitación diaria de 19 estaciones pluviométricas provistos por el Servicio Meteorológico Nacional (Tabla I), para el período 1974-2004. Estas estaciones fueron seleccionadas en función de su completitud: se consideraron aquellas que poseen menos del 10% de sus datos diarios faltantes. En base a estos datos se construyeron las series de promedios de

precipitación cada cinco días. Las series fueron sometidas a un proceso de rellenado dado que la metodología a utilizarse en este trabajo no admite datos faltantes. Este procedimiento consistió en reemplazar la péntada faltante por su promedio climatológico. El detalle de las fechas correspondientes a cada péntada puede encontrarse en el trabajo de Kousky (1988).

Para representar el comportamiento del viento en los niveles bajos se utilizaron datos diarios de la componente zonal del viento en el nivel de presión de 850 hPa (U_{850}) obtenidos a partir de los reanálisis del European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) ERA-40 (Uppala y otros, 2005). Se eligió este conjunto de datos por su alta resolución espacial ($1,125^\circ \times 1,125^\circ$). Se analizó la componente zonal del viento dado que presentó mayores variaciones estacionales en la región de estudio respecto a la componente meridional. Al igual que con los datos de precipitación, se construyeron promedios pentádicos, que fueron analizados a nivel regional. El período analizado para esta variable comprende de 1979 a 1999. Se consideraron los dominios comprendidos entre 62°O y 57°O para representar la región Central y entre $65,5^\circ\text{O}$ y 63°O para representar la región Noroeste. Ambas regiones se encuentran entre $22,5^\circ\text{S}$ y 31°S (Figura 1). Debido a la presencia de la Cordillera de los Andes, se redujo la dimensión longitudinal del dominio que comprende la región Noroeste.

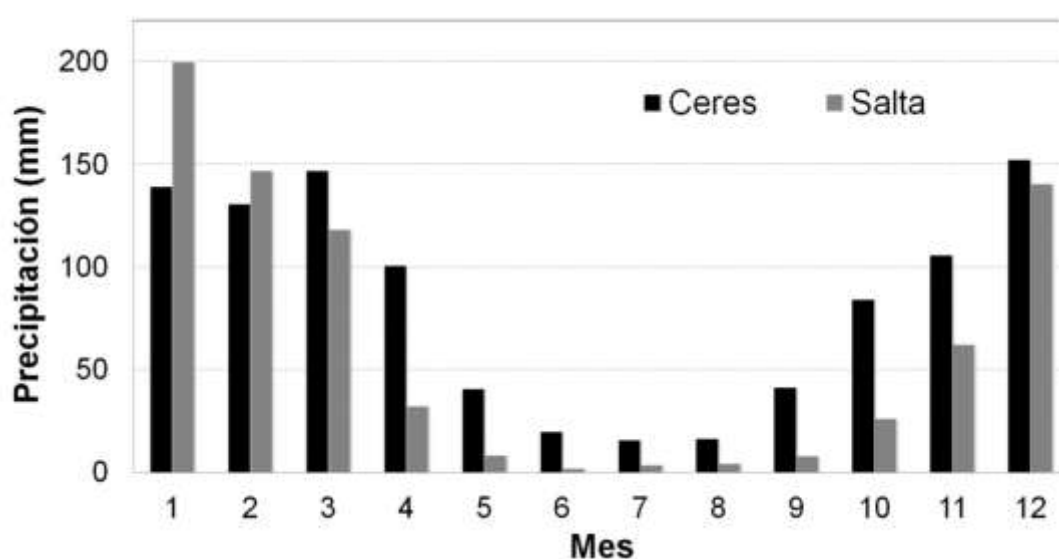


Figura 2: Precipitación climatológica mensual (mm) para las estaciones Salta y Ceres, representativas de las regiones Noroeste y Central, respectivamente.

Estación	Lat (°)	Lon (°)	Altura (m)	Precipitación anual (mm)
La Quiaca	-22,06	-65,36	3459	346
Orán	-23,09	-64,19	357	1021
Tartagal	-22,39	-63,49	450	949
Jujuy	-24,23	-65,05	905	746
Salta	-24,51	-65,29	1221	744
Las Lomitas	-24,42	-60,35	130	931
Famaillá	-27,03	-65,25	363	1364
Santiago Del Estero	-27,46	-64,18	199	658
Pcia. R. Saenz Peña	-26,49	-60,27	92	1151
Resistencia	-27,27	-59,03	52	1440
Formosa	-26,12	-58,14	60	1461
Corrientes	-27,27	-58,46	62	1479
Tinogasta	-28,04	-67,34	1201	214
La Rioja	-29,23	-66,49	429	424
Catamarca	-28,36	-65,46	454	461
Ceres	-29,53	-61,57	88	995
Reconquista	-29,11	-59,42	53	1275
Bella Vista	-28,26	-58,55	70	1358
Paso de los Libres	-29,41	-57,09	70	1612

Tabla I: Características de las 19 estaciones pluviométricas utilizadas en el estudio.

2.3. Criterio para la identificación de la estación lluviosa.

Para determinar las fechas de inicio y fin de la estación lluviosa en cada región, se evaluaron diversos criterios utilizados en Sudamérica basados en datos de precipitación. Numerosos trabajos definen diversos umbrales para los valores de precipitación pentádica. Franchito y otros (2008) definen el comienzo de la estación lluviosa para la péntada cuyo valor supera el valor de precipitación pentádica media, siendo además mayores a este valor 2 de las 4 péntadas siguientes. Marengo y otros (2001) proponen que el inicio del monzón sudamericano se da en la péntada cuyo promedio diario de precipitación supera los 4 mm/día, siendo 6 de las 8 péntadas anteriores (siguientes) menores (mayores) a 3,5 (4,5) mm/día. Mediante la aplicación de estos índices se obtuvo que la definición de la estación lluviosa en las regiones analizadas no fue posible dadas las características aleatorias de la

precipitación, sobre todo en la región del Noroeste argentino. En base a este resultado, se utilizó el criterio de acumulación de precipitación propuesto por Liebmann y Marengo (2001), que permitió representar de manera adecuada el comportamiento de la precipitación en el dominio de estudio. La acumulación se define como:

$$A(p) = \sum_{i=1}^p R(i) - \bar{R} \times p, \quad [1]$$

donde p es la péntada del año considerada, $R(i)$ es la precipitación para la péntada i y \bar{R} es la precipitación pentádica media anual. Si se considera que en las regiones de interés la estación lluviosa corresponde al período en el cual la precipitación excede su promedio climatológico anual, entonces una pendiente positiva indica la estación lluviosa. Este criterio fue utilizado anteriormente en el trabajo de González y otros (2007), donde fue comparado con otros índices para la región tropical de

Sudamérica, y por Bombardi y Carvalho (2009), entre otros.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Precipitación

El criterio de acumulación no sólo brinda información sobre las fechas de inicio y fin de la estación lluviosa (representadas por los puntos de inflexión de la serie temporal), sino que además la evaluación de su pendiente provee información sobre su intensidad. A modo de ejemplo, se muestran en la Figura 3 dos casos correspondientes a la región Central cuyo comportamiento es diferente –verificado para los años 1996 y 1997-. Durante los años 1996 y 1997, los acumulados de precipitación en la región fueron de 1585 y 1341 mm respectivamente, con un valor medio anual para

la región de 1346 mm. Según se aprecia en la Figura 3, este índice identifica que la longitud de la estación lluviosa durante el año 1996 posee una longitud similar al promedio climatológico de la región. Esto puede contabilizarse considerando las péntadas 1 a 23 y 52 a 73, lo que da un total de 44 péntadas de duración, frente a las 42 péntadas de duración que presenta el promedio climatológico –desde la péntada 1 a la 24 y desde la péntada 55 a la 73-. Sin embargo, analizando la pendiente positiva de la acumulación para 1996 durante la primera parte de la estación lluviosa –de la péntada 1 a la péntada 23- se puede verificar que la misma es mayor a la curva del promedio climatológico, lo cual estaría explicando el exceso de más de 200 mm de precipitación en la región durante ese año.

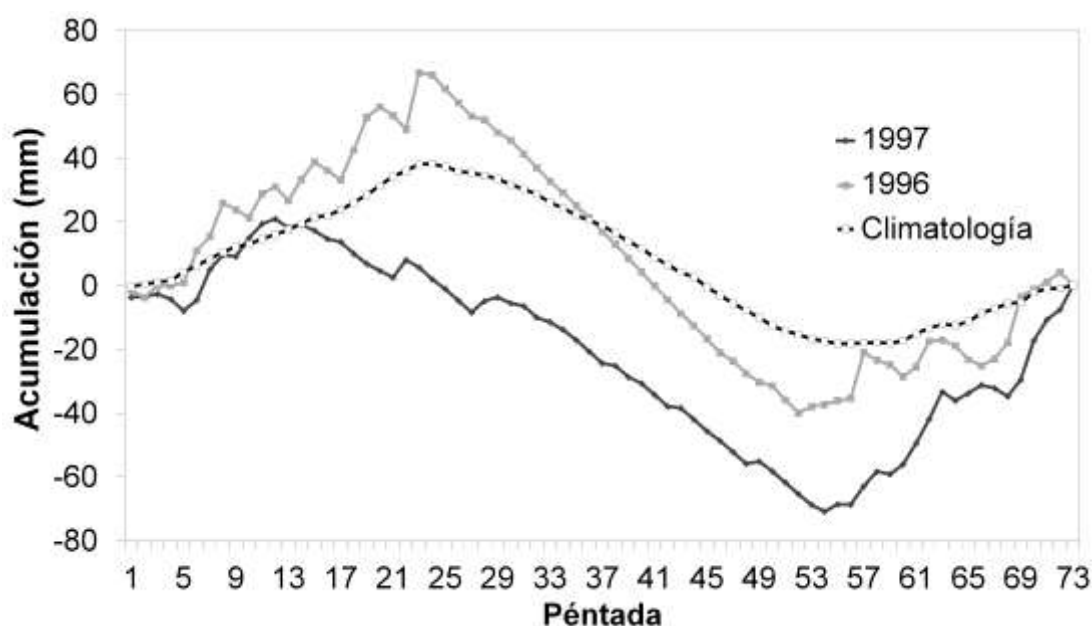


Figura 3: Comparación de la acumulación de precipitación (definida por la ecuación [1]) para la región Central en los años 1996 y 1997. Se incluye además el promedio climatológico.

Para el año 1997, que fue un año que tuvo valores de precipitación normales, se observa una longitud de la estación lluviosa más corta, la cual se manifiesta principalmente en una finalización más temprana de la misma –de la péntada 1 a la péntada 12-. Considerando la precipitación acumulada hasta la péntada 37 (30/6-04/07), la misma presenta un valor de 558 mm, en contraste con los 776,9 mm que presenta climatológicamente. Sin embargo, la marcada

pendiente positiva que se registra al comienzo de la estación lluviosa –de la péntada 54 en adelante- indica que durante el trimestre de octubre-noviembre-diciembre los valores de precipitación fueron superiores al promedio climatológico. Esto tuvo como consecuencia que el año terminara con acumulados normales de precipitación, a pesar de haber empezado con condiciones deficitarias. Ambos ejemplos muestran que la relación entre la duración de la

estación lluviosa y los acumulados de precipitación no es tan directa.

El análisis de la variabilidad interanual de las series temporales de inicio y fin de la estación lluviosa para el período 1974-2004 (Figuras 4 y 5) muestra que ambas regiones poseen tendencias hacia un comienzo más temprano de las precipitaciones y un fin más tardío. Esto implica que la longitud de la estación lluviosa se incrementó en el tiempo. La región Noroeste posee una tendencia leve significativa al 90% para las fechas de inicio de la estación lluviosa (Figura 4). Durante la primera parte del período (1974-1984), el inicio de la estación lluviosa ocurre a principios de noviembre y, durante los últimos años del análisis (1994-2004), hacia la segunda mitad de octubre. La región Central

presenta una tendencia positiva significativa al 95% (Figura 4), aunque hay que tener en cuenta que, para esta región, el inicio de la estación lluviosa no pudo ser determinado unívocamente por el criterio durante los años 1985, 1995, 1998 y 1999. Esto se debe principalmente a la distribución aleatoria de los eventos de convección locales durante esos años, que derivaron en un patrón regional pobremente definido. Las tendencias en las series de fechas de fin de la estación lluviosa presentan valores no significativos en ambas regiones. Esto implica que la estación lluviosa aumenta su longitud temporal, principalmente como consecuencia de un adelanto del inicio de la misma.

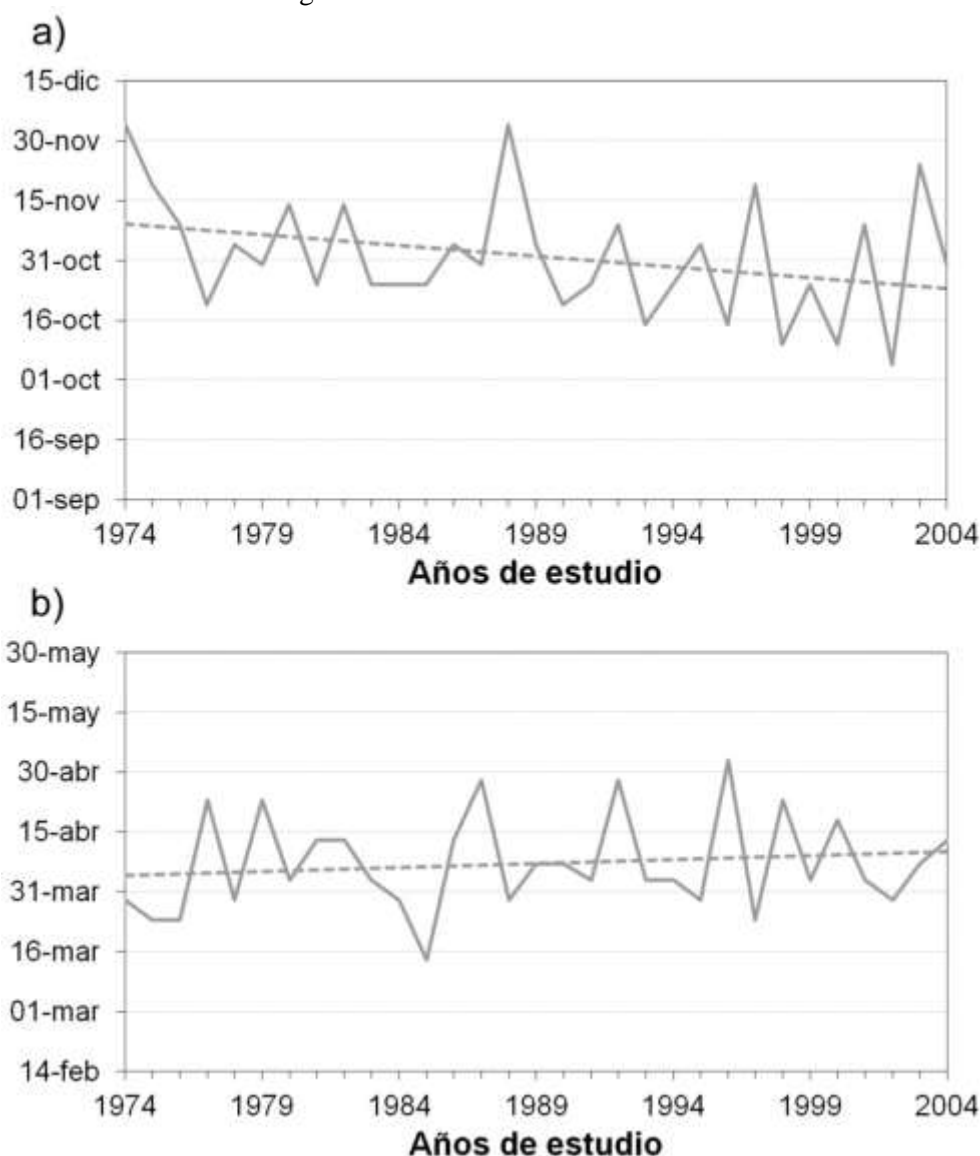


Figura 4: Series temporales de las fechas de inicio (a) y de fin (b) de la estación lluviosa para el período 1974-2004 para la región Noroeste. En línea de trazos se muestra la tendencia lineal.

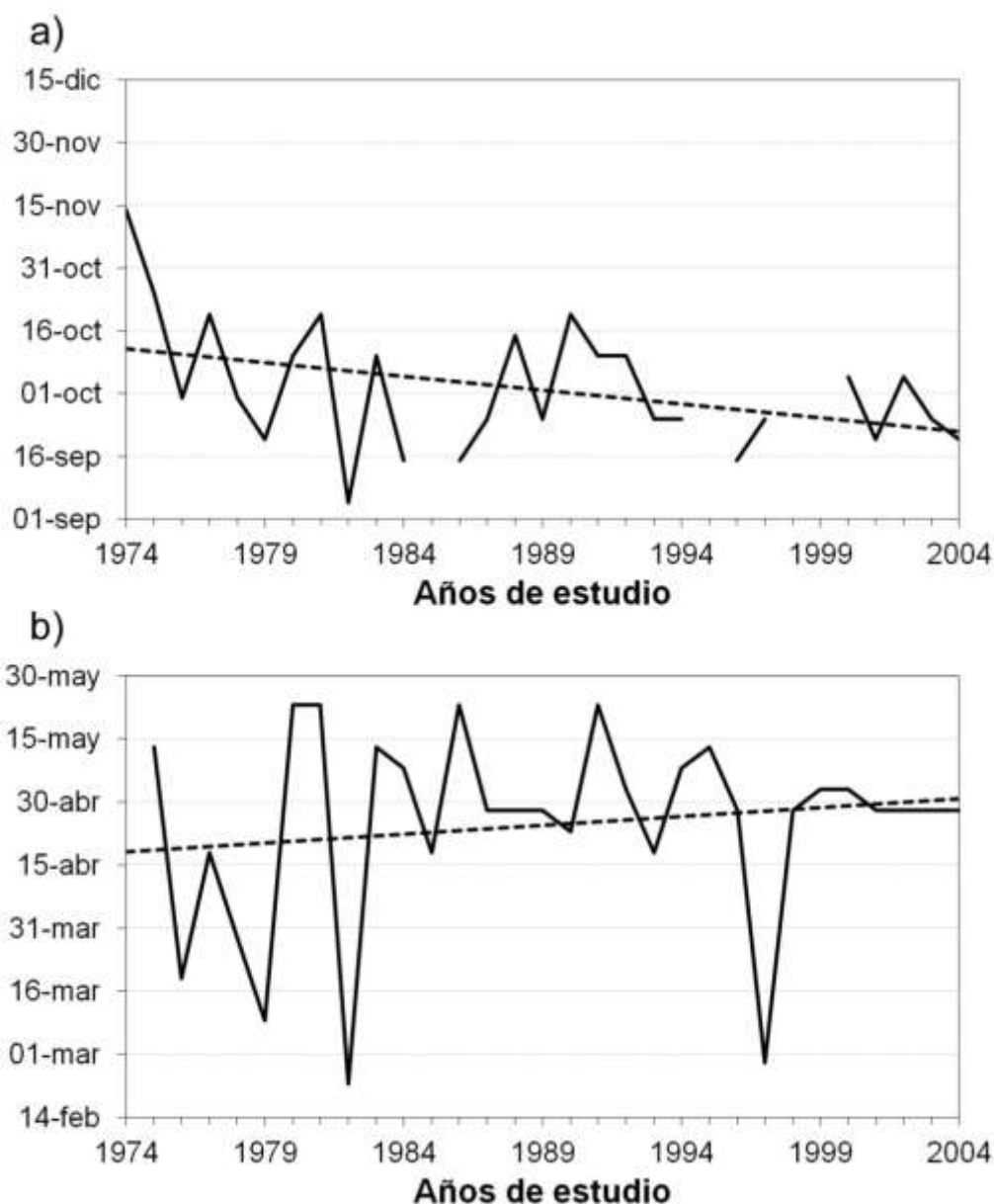


Figura 5: Ídem figura 4, para la región Central.

Dado que las fechas de inicio y fin de la estación lluviosa poseen mayor interés y aplicabilidad que los totales estacionales de precipitación para fines agrícolas (Hachigonta y otros, 2008), estos resultados pueden ser útiles a fin de establecer una relación entre la variabilidad de las fechas de inicio y fin de la estación lluviosa y las fechas elegidas para la siembra y la cosecha de la producción agrícola.

3.2. Viento en niveles bajos

La disminución del transporte de humedad desde la región Amazónica hacia la Cuenca del Plata causa una reducción en las precipitaciones sobre

el Norte de Argentina, Paraguay, el Sur de Bolivia y el Norte de Chile (Drumond y Ambrizzi, 2008). Este resultado se obtiene también cuando disminuye el transporte de humedad desde el Océano Atlántico (Lenters y Cook, 1995). Una de las componentes de este transporte de humedad es el viento zonal en capas bajas.

A partir del análisis de la composición del vector viento en niveles bajos (Figura 6) durante la estación lluviosa, se encontró que, en la región Noroeste, los vientos son principalmente del noreste. La región Central, en cambio, muestra que la dirección del viento es predominantemente del norte, la cual rota hacia el noreste en la parte

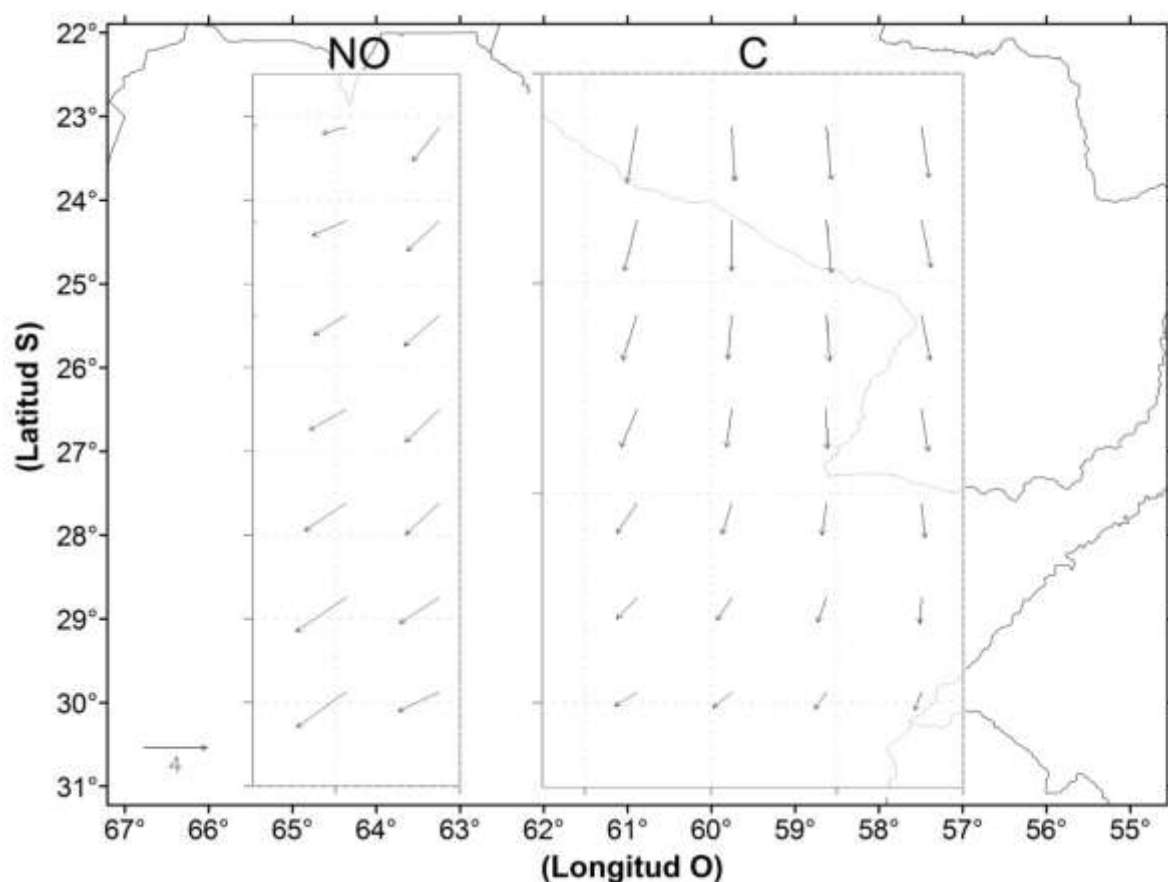


Figura 6: Climatología (1979-1999) del vector viento (m/s) en 850 hPa durante la estación lluviosa para las regiones Noroeste y Central.

sur del dominio de estudio a la vez que disminuye su intensidad.

En la Figura 7 se muestran las series de promedios pentádicos de U_{850} para las regiones Noroeste y Central. El ciclo anual de U_{850} para la región Central presenta una rotación del viento. A nivel climatológico, la evolución temporal de esta variable exhibe en la región Central vientos del este hasta mediados de abril, que rotan hacia el oeste 3 pentadas antes de la finalización de la estación lluviosa. La rotación se da nuevamente en promedio 5 pentadas antes del comienzo de la estación lluviosa, con un cambio de dirección de los vientos desde el oeste hacia el este. Este resultado se encuentra en concordancia con lo obtenido previamente por Gan y otros (2004),

quienes utilizaron datos de reanálisis de NCEP-NCAR. El cambio en la componente zonal del viento responde al desarrollo de la baja del Chaco durante los meses de verano. Este sistema de superficie interactúa con el sistema de alta presión del Atlántico Sur y favorece el transporte de humedad proveniente desde el Océano Atlántico (Lenters y Cook, 1995). Este aporte de humedad está ligado directamente al inicio de las precipitaciones en la región.

Mediante el análisis del ciclo anual de U_{850} sobre la región Noroeste, se observa un comportamiento similar del viento, pero en este caso no se produce una rotación sino una disminución en la intensidad, lo que indica el inicio la estación seca.

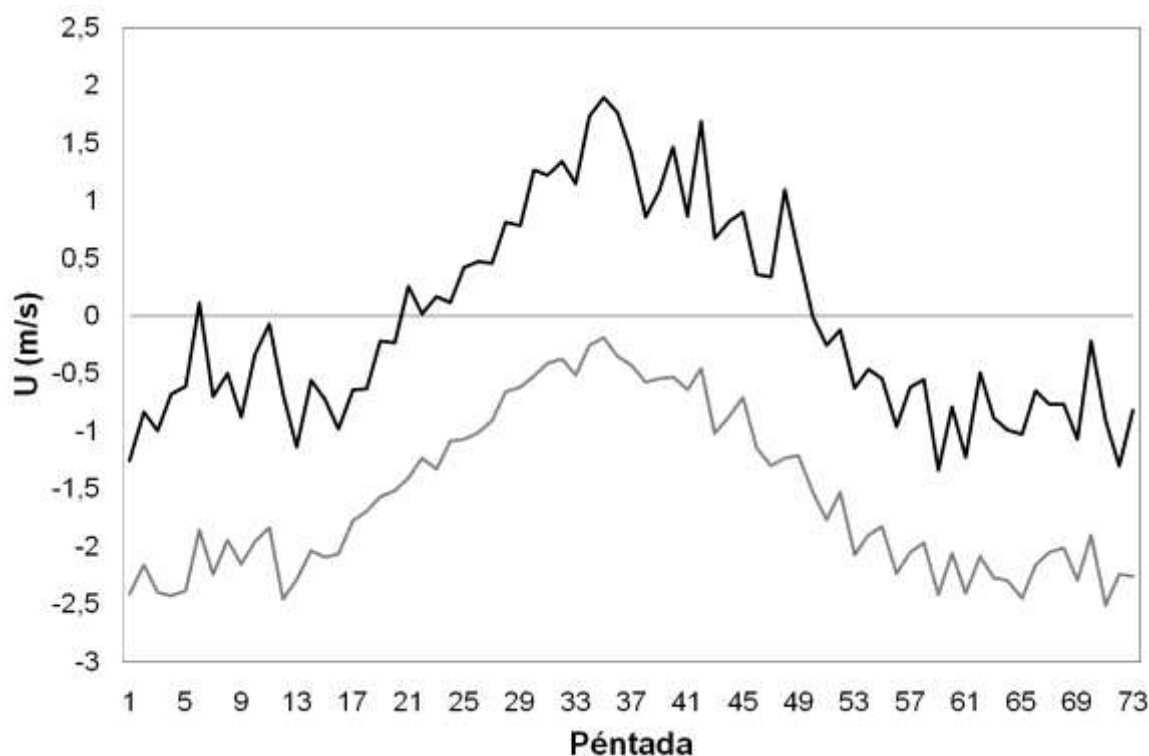


Figura 7: Serie temporal de la componente zonal del viento (m/s) en 850 hPa para las regiones Noroeste (línea gris) y Central (línea negra).

4. CONCLUSIONES

Este estudio permitió identificar la evolución de la estación lluviosa en la región subtropical de Argentina al norte de 30°S a través de un criterio de acumulación de precipitación. Estos resultados complementan lo obtenido por Rivera y otros (2009) y pueden ser utilizados para la validación de resultados obtenidos a través de bases de datos de precipitación grilladas (como por ejemplo González y otros, 2007) y modelos climáticos globales (Bombardi y Carvalho, 2009).

Mediante el análisis de las series temporales de las fechas de inicio para el período 1974-2004, se identificaron tendencias hacia un incremento en la longitud de la estación lluviosa. Esto se debe principalmente a las tendencias del inicio de la misma. Teniendo en cuenta este resultado, a priori podría inferirse una relación entre el aumento en los totales anuales de precipitación, principalmente en la región Noroeste (documentado por Minetti y otros, 2003; Segunda Comunicación Nacional, 2007; entre otros), y la extensión del período de la estación lluviosa. Sin embargo, como se mostró anteriormente, la relación entre los acumulados totales de

precipitación y la extensión de la estación lluviosa no es directa y deben tenerse en cuenta otros factores tales como la variabilidad inter-anual e intra-estacional de la precipitación.

El análisis del ciclo estacional de la componente zonal del viento en el nivel de 850 hPa arroja resultados consistentes con lo encontrado para la precipitación. Puede verse que la evolución del ciclo estacional del viento presenta un cambio en su dirección que se relaciona con los cambios ocurridos en el inicio y fin de la estación lluviosa. Este vínculo es más evidente en la región Central, mientras que puede reconocerse también, pero en menor medida, en la región Noroeste.

A fin de establecer un modelo de pronóstico, los resultados obtenidos a partir del análisis del viento zonal en capas bajas son muy importantes, aunque resta investigar su variación interanual. Además, deberán incluirse dentro de este modelo los años con comienzos indefinidos, como se propone en Lo y otros (2008).

Agradecimientos: Al Servicio Meteorológico Nacional y al proyecto CLARIS LPB de la Comunidad Europea por la provisión de los datos para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- Barros, V.R., González, M., Liebmann, B., Camilloni, I.A., 2000. Influence of the South Atlantic convergence zone and South Atlantic Sea surface temperature on interannual summer rainfall variability in Southeastern South America. *Theor. Appl. Climatol.*, 67, 123-133.
- Barros, V.R., Doyle, M., González, M., Camilloni, I.A., Bejarán, R., Caffera, R.M., 2002. Climate Variability over Subtropical South America and the South American Monsoon: A Review. *Meteorológica*, 27, 33-57.
- Barros, V.R., Doyle, M.E., Camilloni, I.A., 2008. Precipitation trends in southeastern South America: relationship with ENSO phases and with low-level circulation. *Theor. Appl. Climatol.*, 93, 1-2, 19-33.
- Bombardi, R.J., Carvalho, L.M.V., 2009. IPCC global coupled model simulations of the South America monsoon system. *Clim. Dyn.*, 33, 893-916.
- Camberlin P., Diop, M., 2003. Application of daily rainfall principal component analysis to the assessment of the rainy season characteristics in Senegal. *Climate Research*, 23, 159-169.
- Castañeda, M., Barros, V., 1994. Las tendencias de la precipitación en el cono sur de América al este de los Andes. *Meteorológica*, 19, 23-32.
- Castañeda, M., Barros, V., 2001. Tendencias de la precipitación en oeste de la Argentina. *Meteorológica*, 26, 5-23.
- Drumond, A.R. de M., Ambrizzi, T., 2008. The role of the South Indian and Pacific oceans in South American monsoon variability. *Theor. Appl. Climatol.*, 94, 125-137.
- Franchito, S.H., Rao, V., Barbieri, P.R.B., Santo, C.M.E., 2008. Rainy-season duration estimated from OLR versus rain gauge data and the 2001 drought in Southeast Brazil. *J. Appl. Met. Clim.*, 47, 5, 1493-1499.
- Gan, M.A., Kousky, V.E., Ropelewski, C.F., 2004. The South America Monsoon Circulation and Its Relationship to Rainfall over West-Central Brasil. *J. Climate*, 17, 47-66.
- González, M., Barros, V., 1998. The relationship between tropical convection in South America and the end of the dry period in Subtropical Argentina. *Int. J. Climatol.*, 18, 1669-1685.
- González, M., Vera, C.S., Liebmann, B., Marengo, J.A., Kousky, V., Allured, D., 2007. The nature of the rainfall onset over central South America. *Atmósfera*, 20, 4, 379-396.
- Hachigonta, S., Reason, C.J.C., Tadross, M., 2008. An analysis of onset date and rainy season duration over Zambia. *Theor. Appl. Climatol.*, 91, 229-243.
- Hoffmann, J.A., Núñez S., Gómez, A., 1987. Fluctuaciones de la precipitación en la Argentina, en lo que va del siglo. *Actas del II Congreso Interamericano de Meteorología. V Congreso Argentino de Meteorología*, Buenos Aires, Argentina. Págs. 12.1.1-12.1.5.
- Kodama, Y.-M., 1992. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ). Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. *J. Meteor. Soc. Japan*, 70, 813-836.
- Kousky, V.E., 1988. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South America sector. *Revista Brasileira de Meteorología*, 3, 217-231.
- Laux, P., Kunstmann, H., Bárdossy, A., 2008. Predicting the regional onset of the rainy season in West Africa. *Int. J. Climatol.*, 28, 329-342.
- Lenters, J.D., Cook, K.H., 1995. Simulation and diagnosis of the regional summertime precipitation climatology of South America. *J. Climate*, 8, 2988-3005.
- Liebmann B., Marengo, J., 2001. Interannual variability of the rainy season and rainfall in the Brazilian Amazon Basin. *J. Climate*, 14, 4308-4318.
- Lo, F., Wheeler, M.C., Lennox, S., 2008. Improving predictions of the North Australian wet season: onset and duration. *CAWCR Technical Report No. 001*. Melbourne, Australia, 33 págs.
- Marengo J., Liebmann, B., Kousky, K., Filizola, N., Wainer, I., 2001. Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon basin. *J. Climate*, 14, 833-852.
- Minetti J.L., Vargas, W.M., Poblete, A.G., Acuña, L.R., Casagrande, G., 2003. Non-linear trends and low frequency oscillations in annual precipitation over Argentina and Chile, 1931-1999. *Atmósfera*, 16, 119-135.
- Mugalavai, E.M., Kipkorir, E.C., Raes, D., Rao, M.S., 2008. Analysis of rainfall onset, cessation and length of growing season for western Kenya. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148, 1123-1135.
- Raia, A., Cavalcanti, I.F.A., 2008. The Life Cycle of the South American Monsoon System. *J. Climate*, 21, 6227-6246.
- Rivera, J., Herrera, N., Gulizia, C., Montroull, N., Spennemann, P., 2009. Identificación del inicio de la estación lluviosa en la región subtropical

- de Argentina. Actas XXIV Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, Mendoza, Argentina. Págs. 61-67. ISBN 978-987-25291-1-6.
- Rusticucci, M.M., Penalba, O.C., 2000. Interdecadal changes in precipitation seasonal cycle over South America. Relationship with surface temperature. *Climate Research*, 16, 1-15.
- Segunda Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. República Argentina, 2007. 200 págs. [http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/UCC/File/Segunda Comunicación Nacional.pdf](http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/UCC/File/Segunda%20Comunicacion%20Nacional.pdf)
- Uppala, S., Kallberg, P., Simmons, A.J., Andrae, U., Bechtold, V.D.C., Fiorino, M., Gibson, J.K., Haseler, J., Hernandez, A., Kelly, G.A., Li, X., Onogi, K., Saarinen, S., Sokka, N., Allan, R.P., Andersson, E., Arpe, K., Balmaseda, M.A., Beljaars, A.C.M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Caires, S., Chevallier, F., Dethof, A., Dragosavac, M., Fisher, M., Fuentes, M., Hagemann, S., Holm, E., Hoskins, B.J., Isaksen, I., Janssen, P.A.E.M., Jenne, R., McNally, A.P., Mahfouf, J.F., Morcrette, J.J., Rayner, N.A., Saunders, R.W., Simon, P., Sterl, A., Trenberth, K.E., Untch, A., Vasiljevic, D., Viterbo, P., and Woollen, J., 2005. The ERA-40 re-analysis. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 131, 2961-3012.
- Vera, C., Baez, J., Douglas, M., Emmanuel, C.B., Marengo, J., Meitin, J., Nicolini, M., Nogues-Paegle, J., Paegle, J., Penalba, O., Salio, P., Saulo, C., Silva Dias, M.A., Silva Dias, P., Zipser, E., 2006: The South American Low-Level Jet Experiment. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 87, 63-77.
- Virji, H., 1981. A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from cloud winds. *Mon. Wea. Rev.*, 111, 599-610.
- Wölcken, K., 1954. Algunos aspectos sinópticos de la lluvia en la Argentina. *Meteoros*, Año IV, N°4, 327-366.
- Wang, B., LinHo, Y. Zhang, and M.M. Lu, 2004: Definition of South China Sea Monsoon Onset and Commencement of the East Asia Summer Monsoon. *J. Climate*, 17, 699-710.
- Zhang, H., 2009: Diagnosing Australia-Asian monsoon onset/retreat using large-scale wind and moisture indices. *Climate Dynamics*, 35, 4, 601-618.